

Rec'd PCT/PTO 14 FEB 2005  
PCT/DE 037 026 00  
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D: 17 OCT 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 37 920.3

**Anmeldetag:** 14. August 2002

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Schaltungsanordnung  
zur Strommessung

**IPC:** G 01 R 19/25

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. September 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brosig

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## Beschreibung

## Verfahren und Schaltungsanordnung zur Strommessung

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Strommessung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf die zugehörige Schaltungsanordnung.

10 Eine bekannte Methode zur Strommessung besteht darin, den Spannungsabfall über einen Shunt-Widerstand zu messen. Dabei werden in modernen Mess- und Schaltgeräten häufig Digital-Analog-Wandler (ADC's) verwendet, die das analoge Messsignal in einen digitalen Messwert wandeln. Dabei können folgende  
15 Probleme auftreten:

- a) Das Messsignal weist einen hohen Dynamikbereich auf, da kleine Ströme ( $< 10\%$  Nennstrom) noch mit akzeptabler Auflösung gemessen werden müssen und große Ströme ( $\geq 10$ -facher Nennstrom) auch noch erfasst werden müssen.
- 20 b) Die Genauigkeit darf durch den Einfluss der Umgebungstemperatur nicht unzulässig beeinträchtigt werden.
- c) Die elektronischen Komponenten (ADC, Prozessor, etc.) müssen mit Strom versorgt werden. Häufig sind dabei zwei (galvanisch) getrennte Stromversorgungen nötig, da Komponenten sowohl auf niedrigem Potential (N-Potential oder künstlicher Sternpunkt) als auch auf hohem Außenleiter-Potential vorhanden sind.
- 25 d) Außer dem Außenleiterstrom muss häufig auch noch die Außenleiterspannung gegen N-Potential gemessen werden.
- 30 e) Bei Überlast oder Kurzschluss muss der Hauptstromkreis abgeschaltet werden.

In der älteren, nicht veröffentlichten deutschen Patentanmeldung DE 101 05 982 A1 der Anmelderin ist ein Verfahren der  
35 eingangs genannten Art vorbeschrieben, bei dem ein Messsignal auf gegenüber Nullpotential höherem Potential liegt und eine Messeinrichtung vorhanden ist, die einen Versorgungsstrom be-

nötigt, wobei das Messsignal als Analogwert anfällt und dessen Messinformation nach einer A/D-Wandlung als Digitalsignal zu einer auf Erdpotential liegenden Auswerteeinheit übertragen wird und wobei nach der A/D-Wandlung des Messsignals das erzeugte Digitalsignal den Takt für eine Modulation des Versorgungstromes liefert, der somit gleichermaßen die Funktion des Trägers für den Informationsgehalt des Messsignals erfüllt. Zur Beherrschung vorgenannter Problempunkte werden dabei folgende Maßnahmen ausgeführt:

10 a) Hohe Dynamik:

Es werden Analog-Digitalwandler mit linearer Kennlinie und entsprechend hoher Auflösung (Bitzahl) erwendet.

b) Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Genauigkeit

15 Es werden für den Shunt (teuere) Speziallegierungen gewählt, die einen kleinen Temperaturkoeffizienten aufweisen.

c) Die Spannung wird entweder über Spannungswandler, d.h. transformatorisch, oder über Spannungsteiler direkt einem ADC auf niedrigem Potential zugeführt.

20

Von letzterem Sachverhalt ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, technische Verbesserungen zu realisieren und hierzu eine geeignete Anordnung zu schaffen.

25 Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Maßnahmen der Verfahrensansprüche gelöst. Zugehörige Schaltungsanordnungen sind in den Sachansprüchen angegeben.

Die Erfindung ist im Wesentlichen durch folgende Maßnahmen

30 bzw. Merkmale gekennzeichnet:

a) Dynamik: Der ADC wird nicht mit einer linearen, sondern mit einer gekrümmten Kennlinie realisiert. Dadurch wird das Messsignal komprimiert und für die gleiche Dynamik reicht eine geringere Bitzahl aus. Dieses Verfahren, welches unter dem Begriff Kompression bekannt ist, soll so  
35 vorteilhaft auf die Strommessung angewandt werden. Mögliche Kennlinien sind logarithmische Kennlinien (mit beson-

derer Nullpunktsbehandlung), die den Vorteil einer konstanten, relativen Genauigkeit, d.h. Fehler bezogen auf Messwert, haben, oder eine Wurzelfunktion, die den Vorteil einer einfachen Expansion durch Quadrieren, z.B. in einem Mikrocontroller, bietet.

b) Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Genauigkeit:

Für den Shunt wird keine spezielle Widerstandslegierung gewählt, sondern ein Stück ohnehin vorhandener Schiene aus Leitermaterial verwendet. Zur lokalen Widerstandserhöhung (für den Shunt) wird der Querschnitt durch Verengungen vermindert. Der hohe Temperaturkoeffizient von Kupfer wird kompensiert, indem der ADC über eine Referenzspannung verfügt, die einen möglichst gleich großen und gleichlaufenden Temperaturkoeffizienten aufweist. Die Messeinheit, die ohnehin auf hohem Potential liegt, kann in gutem thermischen Kontakt mit der verwendeten Kupferschiene montiert werden, so dass beide auf gleichem Temperaturniveau liegen.

c) Spannungsversorgung: Gegenstand der bereits erwähnten

DE 101 05 982 A1 mit der Bezeichnung "Verfahren zur Auswertung eines Messwertes und zugehörige Schaltungsanordnung" ist unter anderm ein Verfahren zur Strommessung auf Potential, bei dem der Versorgungsstrom der auf Potential liegenden Komponenten direkt aus dem Netz zu beziehen und den Messwert durch Modulation des Versorgungsstromes auf niedriges Potential zu übertragen. Diese Grundidee kann nunmehr vorteilhaft dahingehend erweitert werden, dass neben dem Versorgungsstrom der Komponenten auf hohem Potential auch der Versorgungsstrom der auf niedrigem Potential liegenden Komponenten aus dem Netz direkt bezogen wird. Um die Verlustleitung nicht unnötig hoch werden zu lassen, können die Spannungsteiler auch teils mit ohmschen Widerständen, teils mit Kondensatoren realisiert werden.

d) Außenleiterspannungsmessung: Die Außenleiterspannung wird mit Hilfe eines ohnehin vorhandenen Spannungsteilers gemessen. Dazu wird entweder der Spannungsabfall am oberen Widerstand  $RL_x$  einem zusätzlichen Kanal der Messeinrichtung

auf Potential zugeführt oder der Spannungsabfall am unteren Widerstand Rx auf einem ADC der Auswerteeinrichtung auf niedrigem Potential. Hierzu wird im Einzelnen auf die weiter unten beschriebene Figur 6 verwiesen.

5

Gegenüber dem Stand der Technik werden insbesondere folgende Vorteile erzielt:

- 10 a) Hohe Dynamik: Das Verfahren hat den Vorteil, dass preisgünstigere ADCs verwendet werden können, die nicht über den gesamten Messbereich eine hohe Auflösung bereitstellen müssen.
- 15 b) Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Genauigkeit: Das Verfahren hat den Vorteil, dass keine teure Speziallegierung verwendet werden muss, sondern ein Stück ohnehin vorhandene Schiene aus Leitermaterial benutzt wird. Außerdem entfällt die Befestigung (Schrauben, Nieten) der Widerstandselementes am Kupfer. Trotzdem wird durch die Temperaturkompensation eine hohe Messgenauigkeit erreicht.
- 20 c) Spannungsversorgung: Das Verfahren hat den Vorteil, dass Kosten, Gewicht und Platzbedarf eingespart wird.
- d) Der Spannungsabfall an den Widerständen fällt bei der beschriebenen Strommesseinrichtung ohnehin an und kann somit mit einfachen Mitteln und kostengünstig für die zusätzliche Spannungsmessung benutzt werden.

5

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus nachfolgender Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen. Es zeigen

30

Figur 1 die Anordnung einer Messeinrichtung mit einem auf hohen Potential liegendem Shunt und des Shuntwiderstandes,

35

Figur 2 ein logarithmisch komprimierter Code zur Verwendung bei der Messeinrichtung gemäß Figur 1,

Figur 3 einen logarithmisch expandierter Messwert zur Verwendung bei der Messeinrichtung gemäß Figur 1,

Figur 4 einen entsprechend einer Quadratwurzelkurve komprimierten Code als Alternative zur Figur 2,

Figur 5 einen entsprechend einer Quadratfunktion expandierten Messwert als Alternative zu Figur 3

5 Figur 6 eine Anordnung für die Strom- und Spannungsmessung in einem Dreiphasensystem und

Figur 7 eine alternative Anordnung mit Mitteln zur Kurzschluss- und/oder Überlastabschaltung.

10 Nachfolgend wird im wesentlichen von der älteren DE 101 05 982 A1 ausgegangen, deren Offenbarungsgehalt Teil des vorliegenden Anmeldungsgegenstandes ist. Unabhängig davon ist der Anmeldungsgegenstand aber in verallgemeinerter Form auf eine Strom- und Spannungsmessung anwendbar.

15

In der Figur 1 ist eine vorteilhafte Anordnung von Shuntwiderstand und Messeinrichtung gezeigt. Entsprechend der Figur 1 der DE 101 05 982 A1 ist ein Shunt 1 in einer auf hohen Potential liegenden Phase L1 vorhanden, von dem die Messspannung  $U_{diff}$  1 über einen Verstärker 2 auf einen Analog-Digital-Wandler 3 als Teil einer Messeinrichtung 5 gegeben wird. Die Spannungsdifferenz  $U_{diff}$ , die als Maß für den Strom durch den Shunt 1 gilt, wird vom Analog/Digital-Wandler(ADC) 3 in einen binären Messwert gewandelt und als Binärsignal auf Erdpotential übertragen. Dem ADC 3 ist eine Einheit 4 zur Signalkompression vorgeschaltet, mit der in kostengünstiger Weise insbesondere einer großen Signaldynamik Rechnung getragen werden kann, wobei das Binärsignal nach seiner Übertragung einer umgekehrten Expansion unterzogen wird. Letzteres kann softwaremäßig in der diesbezüglichen Auswerteeinheit, insbesondere im üblicherweise vorhandenen Mikrocontoller, auf Erdpotential erfolgen

35 Bei Strommessungen über einen Shunt ist der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Genauigkeit bekannt und nicht zu vernachlässigen: Der Shuntwiderstand ist temperaturabhängig entsprechend der Funktion  $R_s = R_0(1 + \alpha \cdot T)$ .

Anhand Figur 1 wird weiterhin verdeutlicht, dass mittels thermischer Kopplung von Shunt 1 und Messeinrichtung 5 der Temperaturgang des Shuntwiderstandes durch einen gleichgroßen Temperaturgang einer Referenzspannungsquelle 6 mit dem Widerstand entsprechender Funktion  $U_{\text{ref}} = U_0(1 + a \cdot T)$  kompensiert werden kann.

In den Figuren 2 und 3 sind die Signale für eine logarithmische Kompression/Expansion dargestellt, in den Figuren 4 und 5 für eine Wurzel/Quadrat - Kompression/Expansion. Die diesbezüglichen Kennlinien sind mit 21, 31, 41 und 51 bezeichnet.

In Figur 6 ist eine Messeinrichtung für die Strom- und Spannungsmessung in einem 3-Phasensystem mit Phasen L1, L2 und L3 dargestellt. Der Auswertekanal für L1 ist komplett ausgeführt, die identischen Kanäle für L2 und L3 nur teilweise. Wesentlich ist hier, dass drei identische Shuntwiderstände 61, 61', 61'' in den einzelnen Kanälen vorhanden sind, die jeweils mit einer Messeinheit 60 entsprechend der Messeinrichtung 5 gemäß Figur 1 verbunden sind.

Sowohl die Spannungsversorgung auf hohem als auch die Spannungsversorgung auf niedrigem Potential werden über den Spannungsteiler 66, 66' und 67, 67' aus dem Netz gewonnen. Weiterhin sind Widerstände 69, 69' auf hohem Potential und weitere Schaltelemente, wie Kondensatoren und Sperrdioden vorhanden, wobei pauschal die Mittel zur Signalgleichrichtung mit 64, 64' bezeichnet sind.

Die Schaltglieder, mit denen die gewünschte Signalkompression bzw. -Expansion entsprechend den beispielhaft in den Figuren 2 bis 5 gezeigten Kennlinien bewirkt wird, ist in Figur 6 in die Messeinheit 60 integriert.

In Figur 6 ist der Neutraleiter N mit den Verbrauchern 70, 70', 70'' verbunden und es ist ein Sternpunkt gebildet. Al-

ternativ bilden die drei Spannungsteiler einen künstlichen Sternpunkt im Schaltgerät, wenn der Neutral-Leiter nicht angeschlossen wird, was aus Kostengründen dem Normalfall entspricht.

5

Die Spannungsabfälle an den unteren bzw. oberen Widerständen können alternativ für die Spannungsmessung herangezogen werden. Falls die obere Spannung gemessen wird, werden beide Messwerte, d.h. Strom und Spannung, über den modulierten Versorgungsstrom auf niedriges Potential übertragen.

10

In Figur 7 ist eine Schaltungsanordnung mit Messeinheit 60 entsprechend Figur 6 aufgebaut. Im Einzelnen sind hier Spannungsteiler aus Widerständen 76,76' und 77,77' sowie alternativ 79,79' aufgebaut, wobei die Stromversorgung alternativ auf hohen oder niedrigen Potential erfolgt. Zusätzlich sind Mittel zur Kurzschluss- bzw. Überlastabschaltung vorhanden.

15

Für letzteren Zweck enthält die Schaltung über die bereits beschriebenen Elemente eine Vorrichtung aus zwei Komparatoren 85 und 95 mit zwei voneinander unabhängigen, jeweils einstellbaren Schwellwerten. Der erste Komparator 85 vergleicht den momentanen Stromwert mit der Schwelle I und gibt bei Überschreitung ein Signal zur Kurzschlusserkennung aus, mit dem der Hauptstromkreis abgeschaltet werden kann. Der zweite Komparator 95 vergleicht den momentanen Temperaturwert der Last, der mit Hilfe eines thermischen Modells 94 gewonnen wird, mit der Schwelle II und gibt bei Überschreitung ein Signal zur Überlasterkennung aus, mit dem der Hauptstromkreis abgeschaltet werden kann. Es kann auch nur einer der beiden Komparatoren vorgesehen sein.

20

25

30



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Strommessung auf einem Potential, das auf einem gegenüber Nullpotential höherem Wert liegt, wobei der  
5 Stromwert als Analogwert gemessen wird und dessen Information nach einer A/D-Wandlung als Digitalsignal zu einer auf Erdpotential liegenden Auswerteeinheit übertragen wird, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Signal einer Bearbeitung unterzogen wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , dass das Signal einer Kompression/Expansion unterzogen wird
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , dass die Kompression/Expansion logarithmisch erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n -  
20 z e i c h n e t , dass die Kompression/Expansion nach Vorgabe von Wurzelfunktionen erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass eine Temperaturkompensation erfolgt.
- 25 6. Verfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , dass zur Temperaturkompensation eine thermische Kopplung von Messeinrichtung und Shunt vorgenommen  
30 wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zur Auswertung eines Messsignals, das auf gegenüber Nullpotential höherem Potential in einer Messeinrichtung, die einen Versorgungsstrom benötigt, als Analogwert anfällt und dessen Mess-  
35 information nach einer A/D-Wandlung als Digitalsignal zu ei-

ner auf Erdpotential liegenden Auswerteeinheit übertragen wird, wobei nach der A/D-Wandlung des Messsignals das erzeugte Digitalsignal den Takt für eine Modulation des Versorgungsstromes, der somit gleichermaßen die Funktion des Trägers für den Informationsgehalt des Messsignals erfüllt, liefert.

8. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 6, zwecks Anwendung bei der Strommessung an einem Shunt, bei dem der Spannungsabfall als Maß für den Strom nach Verstärkung ausgewertet wird, mit einem Shunt (1; 61, 61', 61''; 71), einem Verstärker (2) für das am Shunt (1; 61, 61', 61''; 71) abgegriffene Spannungssignal, einem Analog/Digital-Wandler (3) und einer Auswerteeinheit (5, 65, 75) sowie mit Mitteln zur Stromversorgung der Messkomponenten (2, 3), d a d u r c h e k e n n z e i c h n e t , dass weitere Mittel (4, 6) zur Signalkompression/-expansion und/oder zur Temperaturkompensation vorhanden sind.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass vor dem A/D-Wandler (3) eine Einheit (4) zur Signalkompression geschaltet ist.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Mittel zur Signalexpansion in die Auswerteeinheit (5, 65, 75), vorzugsweise softwaremäßig im vorhandenen Mikrokontroller, integriert sind.

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 10, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Mittel zur Temperaturkompensation eine temperaturabhängige Referenzspannungsquelle (6) aufweisen.

12. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass Mittel

(85, 95) zur Kurzschlussabschaltung und/oder Überlastabschaltung vorhanden sind.

5 13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass ein erster Komparator  
(85) vorhanden ist, der den Momentanwert des Stromes mit ei-  
nem ersten Schwellwert vergleicht und bei Überschreiten ein  
Signal zur Kurzschlussabschaltung erzeugt.

10 14. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass ein zweiter Komparator  
(95) vorhanden ist, der die momentane Temperatur der Last mit  
einem zweiten Schwellwert vergleicht und bei Überschreiten  
ein Signal zur Überlastabschaltung erzeugt.

15 15. Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass ein thermisches Modell  
(94) der Last vorhanden ist, mit dem die aktuelle Temperatur  
der Last (80) aus dem gemessenen Strom ermittelt wird.

## Zusammenfassung

## Verfahren und Schaltungsanordnung zur Strommessung

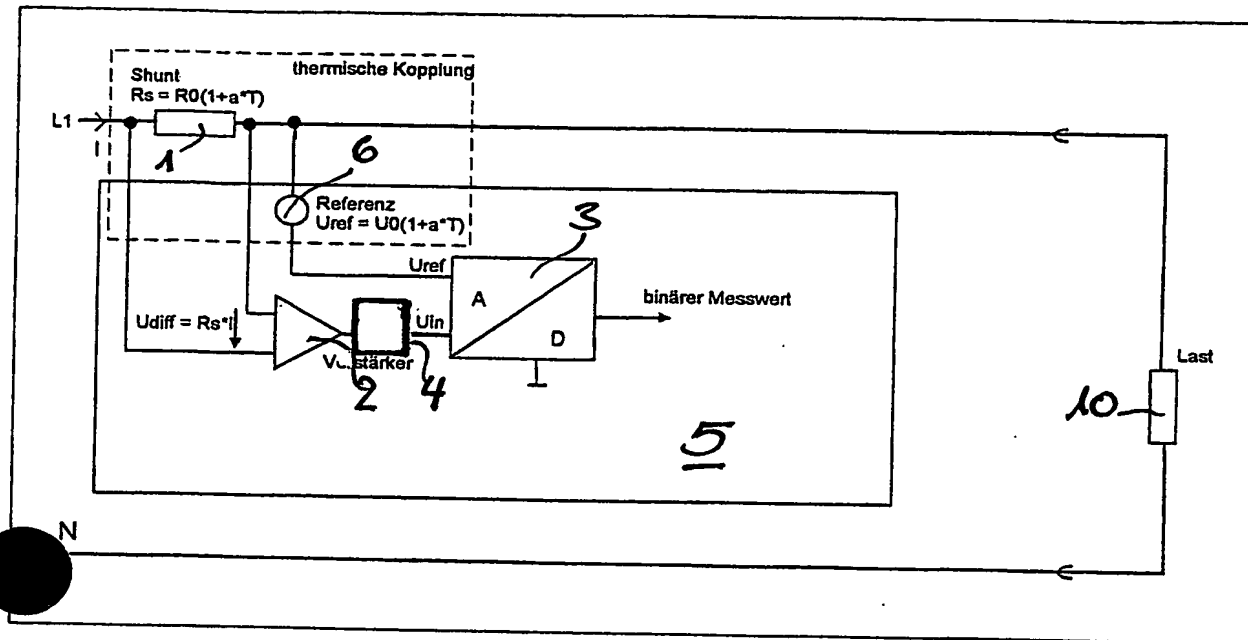
- 5 Vorbeschrieben ist ein Verfahren mit zugehöriger Schaltungs-  
anordnung, bei denen zur Auswertung eines Messsignals, das  
auf gegenüber Nullpotential höherem Potential in einer Mess-  
einrichtung, die einen Versorgungsstrom benötigt, als Analog-  
wert anfällt und dessen Messinformation nach einer A/D-Wand-  
10 lung als Digitalsignal zu einer auf Erdpotential liegenden  
Auswerteeinheit übertragen wird. Dabei liefert das erzeugte  
Digitalsignal den Takt für eine Modulation des Versorgungs-  
stromes und erfüllt somit gleichermaßen die Funktion des Trä-  
gers für den Informationsgehalt des Messsignals. Gemäß der  
15 Erfindung werden gekrümmte Kennlinien zur Kompression/Dekom-  
pression der Signale verwendet. Gleichermaßen sind geeignete  
Mittel zur Temperaturkompensation vorhanden.

FIG 1

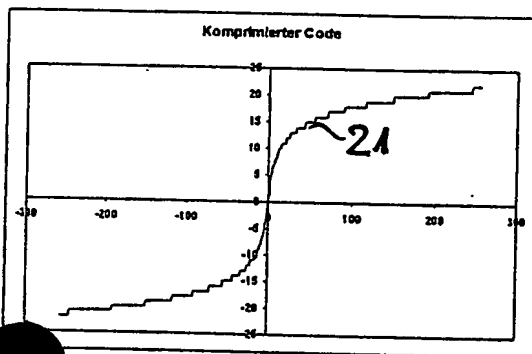
20

2002 13088

115

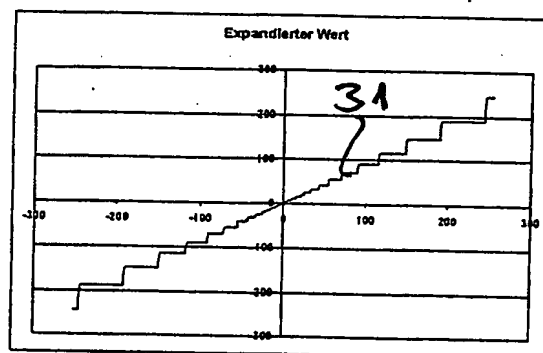


Figur 1: Anordnung der Messeinrichtung und des Shuntwiderstandes



$$\begin{aligned} y &= 4 \cdot \ln x & \text{für } x > 0 \\ y &= 0 & \text{für } x = 0 \\ y &= -4 \cdot \ln(-x) & \text{für } x < 0 \end{aligned}$$

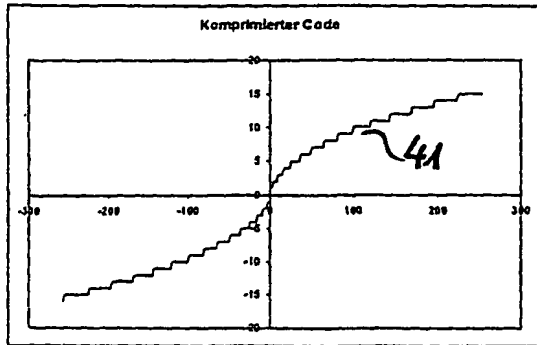
Figur 2: logarithmisch komprimierter Code



$$\begin{aligned} x &= \text{EXP}(y/4) & \text{für } y > 0 \\ x &= 0 & \text{für } y = 0 \\ x &= -\text{EXP}(-y/4) & \text{für } y < 0 \end{aligned}$$

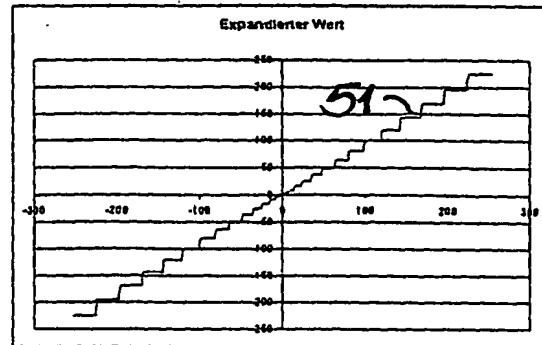
Figur 3: logarithmisch expandierter Messwert

2002 13088



$$y = \sqrt{x} \quad \text{für } x \geq 0$$

$$y = -\sqrt{-x} \quad \text{für } x < 0$$

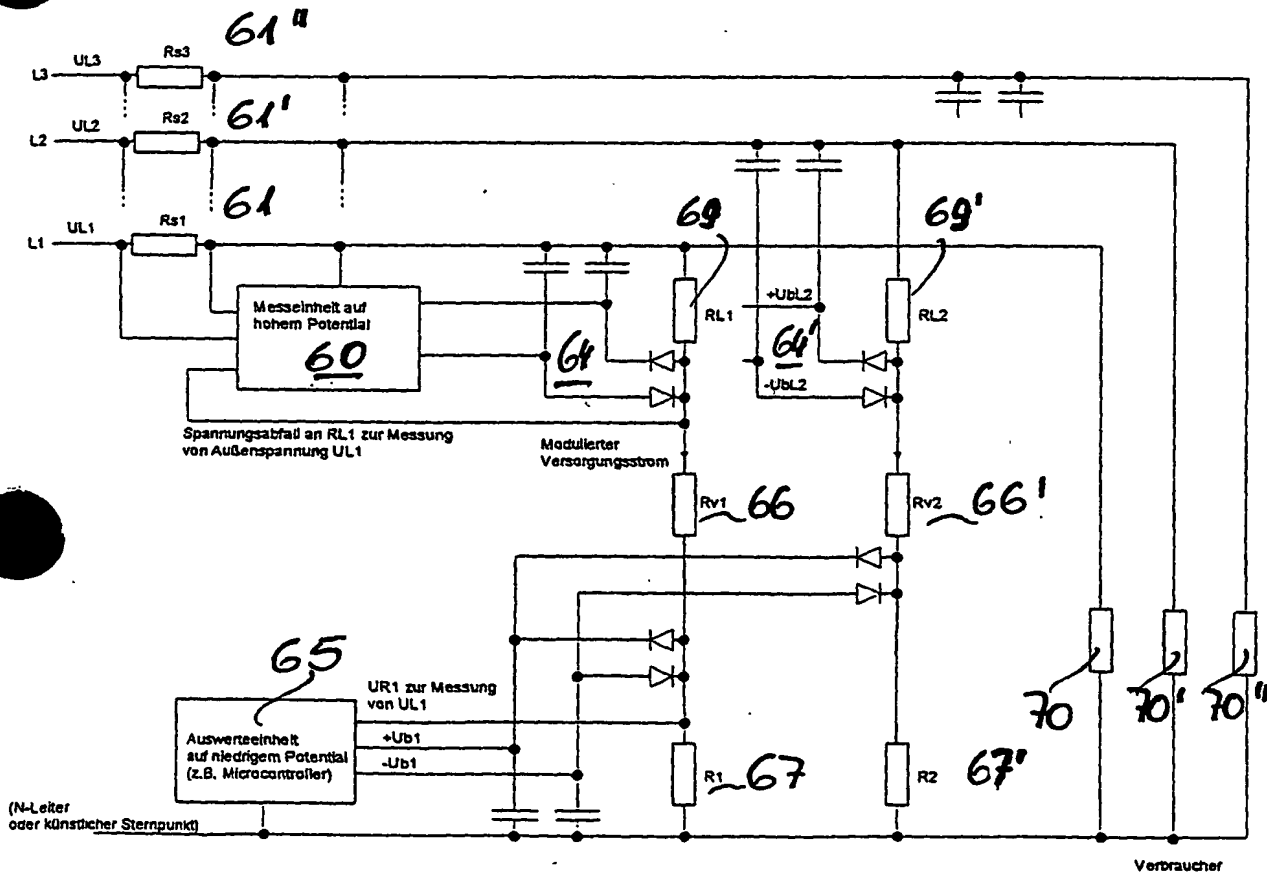


$$x = y^2 \quad \text{für } y > 0$$

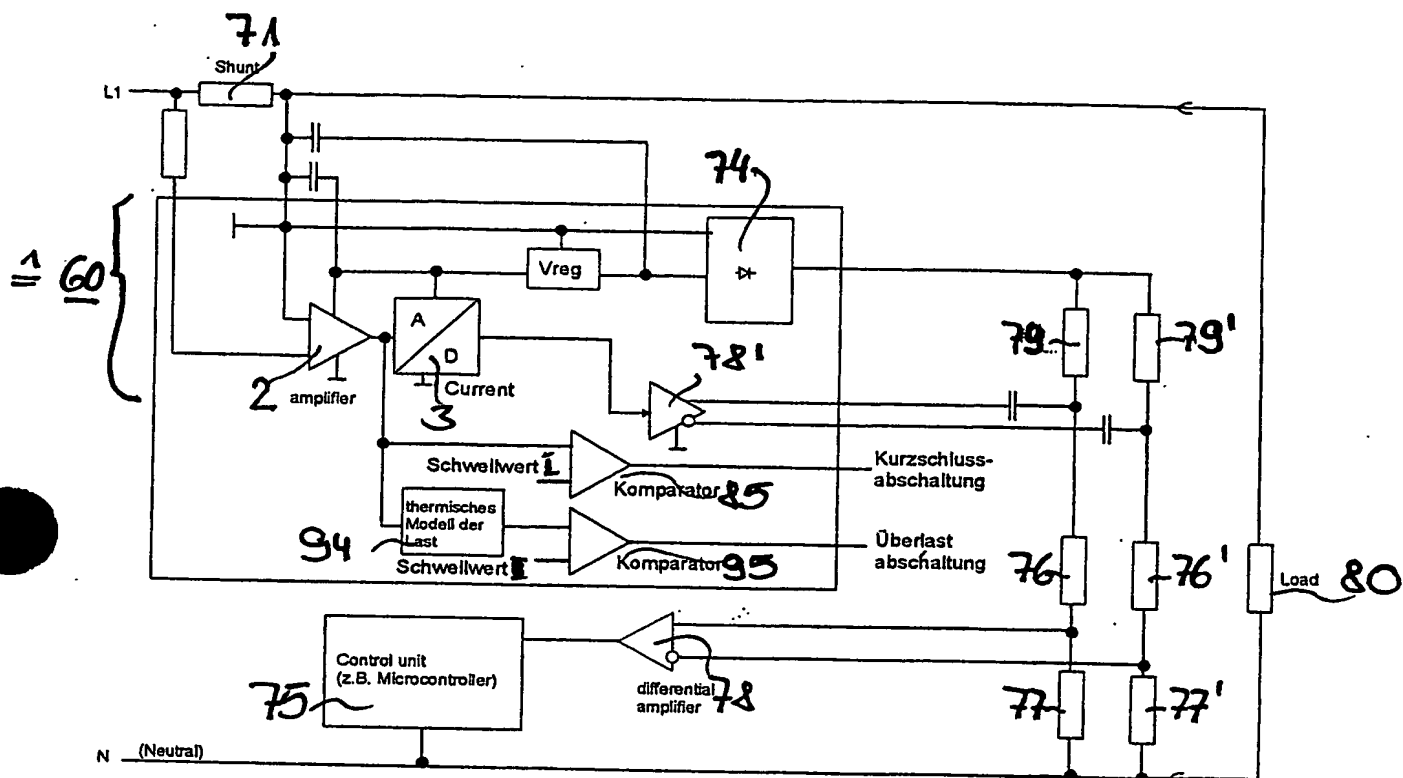
$$x = -y^2 \quad \text{für } y < 0$$

Figur 4: komprimierter Code  
(Quadratwurzelkurve)

Figur 5: expandierter Messwert  
(Quadratfunktion)



Figur 6: Anordnung für die Strom- und Spannungsmessung in einem 3-Phasensystem



**Figur 7**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**